

明 細 書

光増幅ファイバ及びそれを用いた光増幅方法、レーザ発振方法、レーザ増幅装置及びレーザ発振装置並びにレーザ発振装置を用いたレーザ装置及びレーザ加工機

技術分野

[0001] 本発明はレーザ媒質を添加した光増幅ファイバ及びそれを用いた光増幅方法、レーザ発振方法、レーザ増幅装置及びレーザ発振装置並びにレーザ発振装置を用いたレーザ装置及びレーザ加工機に関し、特にそれらの小型化、高効率化が実現できるものに関するものである。

背景技術

[0002] 近年、材料加工分野においてレーザ加工が加工工法の1つとして一般に広まってきた。例えば、レーザ溶接やレーザ切断は、他工法に比較して加工品質が高いことが認められてきている。市場は更なる高品質、高速加工を求めており、高出力、高効率で、なお且つ、より集光性のよい、すなわちビーム品質のよい(高ビーム品質)シングルモードレーザ光を発生し、出射するレーザ発振装置やレーザ増幅装置を求めている。

[0003] 従来レーザ発振装置は、高出力を実現するためにレーザ媒質を添加したファイバと励起光を伝送するファイバを近接して配し、その間を所定の屈折率を有する物質で充填している。こうした先行技術は、たとえば特開昭59-114883号公報及び米国特許第4938561号公報に紹介されている。

[0004] 図8Aは従来のレーザ発振装置を示す。レーザ発振装置100は励起光を伝送する励起光増幅ファイバ101、レーザ媒質が添加されたレーザ光増幅ファイバ102及び結合チャンバ103を備える。励起光増幅ファイバ101とレーザ光増幅ファイバ102は近接して設置されている。結合チャンバ103は、励起光増幅ファイバ101とレーザ光増幅ファイバ102を含み、所定の屈折率を有した物質で満たされている。

[0005] 図8Bは図8Aに示した8B-8B矢視断面図である。

[0006] レーザ光増幅ファイバ102の両端には、レーザ光を反射する図示しない終段鏡及

びレーザ光の一部を取り出し、その残りを反射する図示しない出力鏡が配されている。これらの鏡の作用によってレーザ光が多重帰還増幅される。

[0007] 次にレーザ発振装置100について、その動作を説明する。励起光増幅ファイバ101を伝播する励起光は、結合チャンバ103においてレーザ光増幅ファイバ102に入射し、レーザ媒質を励起する。その励起と多重帰還増幅によってレーザ光が発生、出射する。

[0008] しかしながら、従来のレーザ発振装置100において、高出力を得ようとする、励起源は高出力半導体レーザとなり、その励起光増幅ファイバ101の径が大径化し、約100マイクロメートルとなる。従って、高出力化のために、励起光をレーザ媒質に効率よく入射させるためには、レーザ光増幅ファイバ102の径は、励起光増幅ファイバ101の径と同等か、もしくはそれより大きい方が望ましい。しかし、その場合、ビーム品質が悪くなる。

[0009] 一方、ビーム品質のよい(高ビーム品質)レーザ光を得ようとする場合、レーザ光増幅ファイバ102の径を小さくしなければならない。一般的にレーザ加工に用いられる近赤外レーザ光の場合、ビーム品質のよいシングルモードのレーザ光を得ようとする、レーザ光増幅ファイバの径は6マイクロメートルから10マイクロメートル程度にしなければならない。従って、従来のレーザ発振装置においては、高出力・高ビーム品質のレーザ光が得られないという問題点を有していた。

[0010] 本発明は、高出力・高ビーム品質のレーザ光が得られ、小型化、高効率化が実現レーザできる光増幅ファイバや光増幅方法などを提供するものである。

発明の開示

[0011] 本発明のレーザ発振装置は、励起光を伝送する第1導波路と、レーザ媒質を添加されレーザ光を発生するコアと励起光を伝送するクラッドから成る第2導波路と、第1導波路と第2導波路を含む第3導波路を備える。第1導波路、第2導波路クラッド、第2導波路コア及び第3導波路の屈折率をそれぞれ n_1 , n_2 , n_3 及び n_4 とすると、 $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ の関係をもたせる。こうした構成は、光増幅ファイバ、励起源及び帰還手段との組み合わせの適切化が図れるので、励起光が効率よく小径の励起媒質に入射し、高出力・高ビーム品質のレーザ光を効率よく出射するレーザ装置を提供する

ことができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1A]図1Aは本発明の実施の形態1にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ発振装置の説明図である。

[図1B]図1Bは図1Aの1B－1B矢視断面図である。

[図2A]図2Aは実施の形態2にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ発振装置の説明図である。

[図2B]図2Bは図2Aの2B－2B矢視断面図である。

[図3A]図3Aは実施の形態3にかかる光増幅ファイバを用いた光増幅方法及びレーザ増幅装置の説明図である。

[図3B]図3Bは図3Aの3B－3B矢視断面図である。

[図3C]図3Cは図3Aの3C－3C矢視断面図である。

[図4A]図4Aは実施の形態4にかかる光増幅ファイバを用いた光増幅方法及びレーザ増幅装置の説明図である。

[図4B]図4Bは図4Aの4B－4B矢視断面図である。

[図4C]図4Cは図4Aの4C－4C矢視断面図である。

[図5]図5は実施の形態5にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及び光増幅方法とレーザ装置の説明図である。

[図6A]図6Aは実施の形態6にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ装置の説明図である。

[図6B]図6Bは図6Aの6B－6B矢視断面図である。

[図7A]図7Aは実施の形態7にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ発振装置の説明図である。

[図7B]図7Bは図7Aの7B－7B矢視断面図である。

[図7C]図7Cは図7Aの7C－7C矢視断面図である。

[図8A]図8Aは従来にかかるレーザ装置の説明図である。

[図8B]図8Bは図8Aの8B－8B矢視断面図である。

符号の説明

- [0013] 10a, 10b 半導体レーザ
 11, 11a, 11b レンズ
 12 終段鏡
 13 出力鏡
 14, 15, 15b, 15c 半導体レーザ
 16, 16b, 16c ファイバ
 21, 31, 71 第1導波路
 22, 32, 62, 72 第2導波路
 23, 33, 63, 73 コア
 24, 34, 64, 74 クラッド
 25, 27, 35, 45, 65, 75 第3導波路
 28, 28b, 28c, 30, 40, 60, 70 光増幅ファイバ
 51 レーザ発振装置
 52, 53 レーザ増幅装置
 77a, 77b, 77c 励起光伝送ファイバ
 77d, 77e, 77f 励起光伝送ファイバコア
 78 高反射FBG
 79 透過FBG
 81a, 81b, 81c 空走領域
 82a, 82b 注入領域

発明を実施するための最良の形態

- [0014] (実施の形態1)

図1Aは実施の形態1にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ発振装置の説明図である。図1Bは図1Aの1B-1B矢視断面図である。

- [0015] 図1Aには励起光を発生する励起源である半導体レーザ10a, 10bを示す。また、励起光を励起光導波路に導光する光学素子であるレンズ11a, 11bを示している。光増幅ファイバ20は、その一部にレーザ媒質を含み、その断面形状は、レーザ光射出方向、すなわち光軸方向において同じである。光増幅ファイバ20の両端にはレー

ザ光を反射する終段鏡12及び出力鏡13を備える。出力鏡13はレーザ光の一部を取り出し、その残りを反射する。

[0016] 図1Bは図1Aの1B-1B矢視断面図である。光増幅ファイバ20の材料は、励起光を伝送するガラスである。また、光増幅ファイバ20の直径がおおよそ125マイクロメートルであって励起光導波路である第1導波路21を備える。さらに励起光を吸収してレーザ光を発生しその形状がD字状の第2導波路22、シリコンを主成分とし励起光を閉じ込め、屈折率整合剤の機能を備えた第3導波路25及び屈折率整合剤が封入され励起光の閉じ込め効率を高めるガラスの外層26とを備える。光増幅ファイバ20の全長は、コア23に添加したレーザ媒質濃度等により定まるレーザ光の吸収係数や第2導波路22の断面形状等によって決まる。その全長は通常約20メートルである。

[0017] また、第2導波路22は、その内部にレーザ媒質であり希土類元素であるネオジウムが添加され、シングルモードを伝送する直径6マイクロメートルのコア23と、ガラスを母材とし、その直径が125マイクロメートル程度で励起により発生したレーザ光を閉じ込めるクラッド24を備える。

[0018] 第1導波路21、第2導波路22のクラッド24、コア23、第3導波路25及び外層26の屈折率をそれぞれ n_1 , n_2 , n_3 , n_4 及び n_5 とすると、 $n_5 < n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ の関係が成立するように設定する。

[0019] 第1導波路21の両端にレンズ11a, 11bと半導体レーザ10a, 10bをそれぞれ配し、励起光をそれぞれ第1導波路21に入射させる。一方、コア23の両端には、コア23で発生するレーザ光を帰還させる終段鏡12と一部のレーザ光を透過する出力鏡13を相対向させて設ける。

[0020] 上述のように構成されたレーザ発振装置10についての動作を図1A及び図1Bを用いて説明する。励起源である半導体レーザ10a, 10bは、図示しない電源、冷却装置及び制御装置を作動されると、希土類元素の1つであるネオジウムから励起光され、波長が808ナノメートルのレーザ光を出射する。励起光は光学素子であるレンズ11a, 11bによってそれぞれ所定の開口数(NA)に応じて集光され、励起光を伝送する励起光導波路である第1導波路21の両端から入射され伝播する。

[0021] 第1導波路21及び第1導波路21を取り囲む第3導波路25の屈折率をそれぞれ n_1

及び n_4 とすると、 $n_1 < n_4$ であるとき、励起光は第1導波路21を伝播するにつれて、第3導波路25に入射する。第3導波路25に入射した励起光は、外層26及び第3導波路25の屈折率をそれぞれ n_5 及び n_4 とすると、 $n_5 < n_4$ であるとき、励起光は第3導波路25に閉じ込められ、第3導波路25中で多重反射しながら伝播する。

[0022] 第3導波路25中を伝播する励起光の一部は、第2導波路22のクラッド24、第3導波路25の屈折率をそれぞれ n_2 及び n_4 とすると、 $n_2 > n_4$ であるとき、クラッド24に入射し、第2導波路22に閉じ込められながら、第2導波路22中で多重反射しながら伝播する。

[0023] 第2導波路中を伝播する励起光の一部は、コア23及び第2導波路22のクラッド24の屈折率をそれぞれ n_3 及び n_2 とすると、 $n_3 > n_2$ のときに、コア23に入射する。なお、第2導波路22のクラッド24の断面形状はD字状であるので、クラッド24内で多重反射を繰り返すうちにコア23の全てに吸収され、レーザ媒質であり希土類元素の1つであるネオジウムを励起する。

[0024] 第1導波路21の両端から入射した励起光は、この吸収過程において、第2導波路22中を減衰しながら伝播し、やがてコア23中のネオジウムに吸収され、ネオジウムを励起する。励起により発生する光は、コア23の両端に設けた終段鏡12と出力鏡13とシングルモードを伝送するコア23によって、多重増幅帰還とモード選択が行われ、波長が1064ナノメートルのシングルモードレーザ光となり出力鏡13側から出射する。

[0025] なお、レーザ光を帰還させる終段鏡12と出力鏡13とは、当該波長において反射率を選択できるFBG（ファイバブラッググレーティング）やファイバ端面のフレネル反射としてもよい。また、屈折率整合剤の代わりにグリセリンを主成分とする屈折率整合液を採用してもよい。また、第1導波路21の両端から励起光を入射させたが、その一端から励起光を入射させてもよい。また、光増幅ファイバ20を構成する第1導波路は1本としたが、これを複数本とした光増幅ファイバ20を採用してもよい。

[0026] 上述のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路22と励起光を伝送する第1導波路21を、励起光がコア23に入射できるように構成した光増幅ファイバ20を用いることにより高出力・高ビーム品質のレーザ光が出射できるレーザ発振装置を提供することができる。

[0027] (実施の形態2)

図2Aは実施の形態2にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ発振装置の説明図である。図2Bは図2Aの2B-2B矢視断面図である。実施の形態1と同様の構成については同一の番号を付す。

[0028] 実施の形態1と異なるのは、光増幅ファイバ28の外層29の形状を馬蹄形とした点、また、その材料としてフッ素樹脂を採用したことが異なる。また、励起源である半導体レーザ15の一端を、ファイバ16の一端に接続し、ファイバ16の他端を励起光を伝送する第1導波路21に接続した点でも異なる。また、第3導波路27の断面形状はD字状とし、その材料としては紫外線硬化樹脂を採用する。また、第3導波路27の一部が外層29から突出しており、加えて、第2導波路22の曲率部が第3導波路27の直線部に対向配置させた点でも異なる。こうした構成によれば実施の形態1(図1A、図1B)で採用したレンズ11a、11bを不要にすることができる。

[0029] 上述のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。図2A、図2Bにおいて、ファイバ付きの半導体レーザ15から出射され、波長が808ナノメートルの励起光はファイバ16を伝播し、第1導波路21に入射する。励起光は第1導波路21を伝播するにともな、第3導波路27に入射する。第3導波路27の屈折率 n_4 はフッ素樹脂の外層29のそれよりも大きく、かつ、外層29より突出した第3導波路27の直線部分の屈折率はその周囲の媒体(たとえば空気)のそれよりも大きくなるように選ぶ。

[0030] こうした条件下において、励起光は第3導波路27に閉じ込められ状態で伝播する。また、第3導波路27の断面形状はD字状であるので第3導波路27内で多重反射を繰り返すうちに励起光の大部分は第2導波路22に吸収されネオジウムを励起する。励起によって発生した光は、コア23の両端に設けた終段鏡12と出力鏡13とシングルモードを伝送するコア23によって、多重増幅帰還とモード選択が行われ、シングルモードレーザ光となり出力鏡13より出射する。なお、本発明において、レーザ光を発生する第2導波路のコア径はシングルモードを伝送する大きさに選ぶ。その大きさは6マイクロメートルから20マイクロメートル、好ましくは10マイクロメートルから13マイクロメートルに設定する。

[0031] なお、実施の形態2では、第2導波路22の曲線部分と向き合う第3導波路27の部

分は直線部分とした。しかしこれらの形状を任意に設定し、またこれらが対向する配置を変えてもよい。

[0032] また、第2導波路22の両端に終段鏡12と出力鏡13を設けたレーザ発振装置を構成したが、終段鏡12と出力鏡13を設けずに、レーザ増幅の種となる種光を第2導波路22の端面から入射させ、励起により増幅して、第2導波路32の他端から出射するレーザ増幅装置としてもよい。

[0033] 上述のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路22と励起光を伝送する第1導波路21を、励起光がコアに入射できるように包含する光増幅ファイバ28を用いることによって、高出力・高ビーム品質のレーザ光を効率よく出射するレーザ発振装置を提供することができる。

[0034] (実施の形態3)

図3Aは実施の形態3にかかる光増幅ファイバを用いた光増幅方法及びレーザ増幅装置の説明図、図3Bは図3Aの3B-3B矢視断面図、図3Cは図3Aの3C-3C矢視断面図である。

[0035] 図3A、図3B及び図3Cには、出射するレーザ光波長が915ナノメートルである励起源の半導体レーザ14、励起光を励起光導波路に導光する光学素子であるレンズ11を示す。また、その一部にレーザ媒質を含む光増幅ファイバ30を備える。また、材料がガラスから成りその直径が125マイクロメートルで励起光を伝送する励起光導波路である第1導波路31を示す。また、励起光を吸収してレーザ光を発生する光軸に直交する方向の断面形状がD字状をした第2導波路32、励起光を閉じ込め屈折率整合剤を含む第3導波路35及び屈折率整合剤が封入され励起光の閉じ込め効率を高めるガラスから成る外層36を示している。

[0036] また、第1導波路31の長手方向の断面形状はほぼ円形で、かつ光軸方向に添ってその断面積が漸減するテーパ形状としている。第2導波路32は、その内部にレーザ媒質であり希土類元素のイットリビウムが添加され、シングルモードを伝送する直径6マイクロメートルのコア33と、ガラスを母材としその直径が125マイクロメートル程度であり励起によって発生したレーザ光を閉じ込めるクラッド34を備える。

[0037] 第1導波路31、第2導波路32のクラッド34、コア33、第3導波路35及び外層36の

屈折率をそれぞれ、 n_{31} , n_{32} , n_{33} , n_{35} 及び n_{36} とすると、これらの間には、 $n_{36} < n_{31} < n_{35} < n_{32} < n_{33}$ の関係をもたせている。

- [0038] 上述のように構成されたレーザ増幅装置について動作を説明する。励起源である半導体レーザ14は、図示しない電源、冷却装置及び制御装置を作動させることによって、イットリビウムの励起光であり波長が915ナノメートルのレーザ光を出射する。この励起光は光学素子であるレンズ11によって、所定の開口数(NA)に応じて集光され、励起光を伝送する励起光導波路である第1導波路31の両端から入射され、伝播する。
- [0039] 第1導波路31は光軸方向においてその断面積が漸減するテーパ形状であるため、レーザ光軸に添って同一断面をもつ円柱状導波路に比較して、大きな開口数(NA)を得ることができる。
- [0040] 第1導波路31の屈折率及び第1導波路31を取り囲む第3導波路35の屈折率をそれぞれ n_{31} 及び n_{35} とすると、 $n_{31} < n_{35}$ であるとき、励起光は第1導波路31を伝播するとともに、第3導波路35に入射する。そのとき、励起光は第1導波路31が漸減テーパ形状であるため、第1導波路31を伝播するにつれて、徐々に第3導波路35への入射角を増していく。
- [0041] これにより励起光は、レーザ光軸方向に添って同一断面をもつ円柱状導波路に比較して短い距離の間で第3導波路35に入射する。外層36及び第3導波路35の屈折率をそれぞれ n_{36} , n_{35} とすると、 $n_{36} < n_{35}$ であるときに、励起光は第3導波路35中に閉じ込められながら第3導波路の中で多重反射しながら伝播する。
- [0042] 第3導波路35中を伝播する励起光の一部は、第2導波路32のクラッド34及び第3導波路35の屈折率をそれぞれ n_{32} , n_{35} とすると、 $n_{32} > n_{35}$ であるとき、励起光の一部はクラッド34に入射し、第2導波路32に閉じ込められながら第2導波路32を多重反射しながら伝播する。
- [0043] 第2導波路32中を伝播する励起光の一部は、コア33及び第2導波路32のクラッド34の屈折率をそれぞれ n_{33} , n_{32} とすると、 $n_{33} > n_{32}$ であるとき、励起光はコア33に入射する。そのとき、第2導波路32のクラッド34内で多重反射を繰り返すうちに全ての励起光がコア33に吸収され、レーザ媒質であるイットリビウムを励起する。

- [0044] すなわち、第1導波路31に入射した励起光は、この吸収過程において、第2導波路32を減衰しながら伝播し、やがてコア33中のイットリビウムに吸収され、イットリビウムを励起する。一方、レーザ増幅の種となる種光は、第2導波路32の端面から入射する。入射した種光は、励起により増幅され、第2導波路32の他端から出射する。
- [0045] なお、実施の形態3においては、第2導波路32の断面形状をD字状としたが、矩形状でもよい。また、実施の形態1と同様に、第3導波路に屈折率整合剤とは別の液体状の屈折率整合液を採用してもよい。
- [0046] 上述のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路32と励起光を伝送する光軸方向に添ってその断面が漸減するテーパ形状の第1導波路31を、励起光がコアに入射できるように構成した光増幅ファイバ30を採用することにより高出力・高ビーム品質のレーザ光が出射されるレーザ増幅装置を提供することができる。
- [0047] (実施の形態4)
- 図4Aは実施の形態4にかかる光増幅ファイバを用いた光増幅方法とレーザ増幅装置の説明図である。図4Bは図4Aの4B-4B矢視断面図である。図4Cは図4Aの4C-4C矢視断面図である。実施の形態4において、実施の形態3と同様の構成については同一の番号を付す。
- [0048] 実施の形態3と異なるのは、第1導波路31をレーザ光軸方向に傾けた点と、それに合わせて第3導波路45の形状を異ならせた点である。また、半導体レーザ14及びレンズ11を、励起光が第1導波路31の正面から入射するように、レーザ光軸方向に添って傾けた点でも実施の形態3とは異なる。
- [0049] 図4A、図4Bにおいて、第1導波路31と第2導波路32との最小間隔 h は、光増幅ファイバ40において、レーザ光軸方向で一定となるように第1導波路31をレーザ光軸方向に傾けて配置する。すなわち、第1導波路31はその断面形状が光軸方向に添って漸減するテーパ形状を成す。また、半導体レーザ14及びレンズ11を、励起光が第1導波路31の正面から入射するようにレーザ光軸方向に傾ける。
- [0050] 上述のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。励起源である半導体レーザ14から出射した励起光は第1導波路31を伝播するとともに第3導波路45に入射する。そのとき励起光は、第1導波路31の断面積は光軸方向に漸減する

テーパ形状であり、かつ、第2導波路32との最小間隔 h が一定に保たれているので、励起光は第1導波路31を伝播してもそのエネルギーは減衰することなく、効率よく第2導波路32に閉じ込められ、イットリビウムを励起することができる。一方、レーザ増幅の種となる種光は、第2導波路32の端面から入射する。入射した種光は、上記励起により増幅され、第2導波路32の他端から出射する。

[0051] なお、外層36が接する周囲の媒体は空気である。しかし、外層36の外周にその屈折率 n_{36} よりも小さい屈折率をもつ、たとえば樹脂層を設けてもよい。

[0052] 上述のように、シングルモードを伝送するコアを備える導波路と励起光を伝送する漸減テーパ形状導波路を、励起光がコアに入射できるように構成したファイバを採用することにより高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ増幅装置を提供することができる。

[0053] (実施の形態5)

図5は実施の形態5にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及び光増幅方法及びレーザ装置の説明図である。その特徴は、レーザ発振装置51、レーザ増幅装置52、及びレーザ増幅装置53を直列に接続して多段化構成とした点である。レーザ発振装置51には終段鏡12及び出力鏡13が備えられているしかし、レーザ増幅装置52、53にはこれらの鏡を備えていない。

[0054] 上述のように構成されたレーザ発振装置について、その動作を説明する。励起源である半導体レーザ15から出射し、波長が808ナノメートルの励起光は、ファイバ16に誘導されて、光増幅ファイバ28に入射する。その後、帰還手段である終段鏡12と出力鏡13とともに、波長が1064ナノメートルのレーザ光を出射する。さらにこのレーザ光は、次段の光増幅ファイバ28bであって図示しない第2導波路に入射する。この入射したレーザ光は半導体レーザ15bにより増幅され、次段の光増幅ファイバ28cの図示しない第2導波路に入射する。この入射したレーザ光は半導体レーザ15cにより増幅され出射する。

[0055] なお、レーザ発振装置51から出射したレーザ光を次段のレーザ増幅装置52の光増幅ファイバ28bの第2導波路に入射させる方法や、さらに次段のレーザ増幅装置53の光増幅ファイバ28cの第2導波路に入射させる方法は、レンズを用いた空間伝送

やファイバ伝送を用いてもよい。そのとき、ファイバ16bの一端をレーザ発振装置51に、その他端をそれぞれレーザ増幅装置52に接続する。望ましくはこれらを融着して接続するならば接続の信頼性はさらに高まる。また、ファイバ16cの一端をレーザ増幅装置52に接続し、その他端をレーザ増幅装置53に接続する構成としてもよい。

[0056] また、レーザ発振装置51及びレーザ増幅器52, 53を構成する第2導波管を基本とするレーザ発振装置を構成してもよい。なお、実施の形態5のレーザ装置をレーザ加工装置に搭載して出射光を集光することによって、溶接や切断などのレーザ加工ができ、レーザ加工装置を提供することができるので、各種の生産設備として用いることもできる。

[0057] 上述のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路と励起光を伝送する第1導波路を、励起光がコアに入射できるようにしてファイバ16, 16b及び16cを用いるレーザ発振装置51とレーザ増幅装置52, 53とを直列に結合することにより高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ装置を提供することができる。

[0058] (実施の形態6)

図6Aは実施の形態6にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ発振装置の説明図である。図6Bは図6Aの6B-6B矢視断面図である。実施の形態6が実施の形態1, 実施の形態2と異なる点は、光増幅ファイバ60が、励起光を伝送する第1導波路21を4本備え、それらが、第2導波路62を取り囲むように構成した点である。また、レーザ光を発生するレーザ媒質であるネオジウムを添加したコア63の一端に、レーザ光を反射するFBG(ファイバブラッググレーティング)を設け、その他端には、一部のレーザ光を透過するFBG(ファイバブラッググレーティング)を設けている点でも異なる。

[0059] 上述のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。ファイバを有する半導体レーザ15から出射される励起光はファイバ16を伝播し、第1導波路21に入射する。第1導波路21を伝播するとともに、第3導波路65に入射していく。入射光は第3導波路65内で多重反射を繰り返すうちに第2導波路62に吸収されネオジウムを励起する。励起により発生する光は、コア63の両端に設けたFBGとシングルモードを伝送するコア63により多重増幅帰還とモード選択が行われ、シングルモードレーザ

光となり光増幅ファイバ60の端面より出射する。

- [0060] なお、第1導波路21の形状、屈折率を4本とも同じとしたが、互いに異ならせてもよい。いずれにしても、4本の第1導波路21の屈折率 n_1 は、第3導波路65の屈折率 n_4 よりは小さく設定する。なお、4本の第1導波路21は、コア63に対して等距離に配置しなくともよい。
- [0061] 上述のように、シングルモードを伝送するコア63を備える第2導波路62と励起光を伝送する複数の第1導波路21を、励起光が同時にコア63に入射できるように構成した光増幅ファイバ60を採用することによって、高出力・高ビーム品質のレーザ光を効率よく出射できるレーザ発振装置を提供することができる。
- [0062] (実施の形態7)
- 図7Aは実施の形態7にかかる光増幅ファイバを用いたレーザ発振方法及びレーザ発振装置の説明図である。図7Bは図7Aの7B-7B矢視断面図であり、図7Cは図7Aの7C-7C矢視断面図である。
- [0063] 図7A、図7B及び図7Cには、各々の波長が808ナノメートルの励起光の励起源である半導体レーザ95a、95b及び95cを示す。また、励起光を伝送する励起光伝送ファイバ77a、77b及び77cを示す。また、励起光伝送ファイバコア77d、77eおよび77fを示している。
- [0064] また、光増幅ファイバ70はその一部にレーザ媒質であるネオジウムを含む。光増幅ファイバ70の長手方向には励起光を伝送する空走領域81a、81b及び81cが形成され、また、励起光を、レーザ媒質を有する導波路に注入する注入領域82a及び82bが構成されている。
- [0065] 空走領域81a、81b及び81cは、励起光を伝送する励起光導波路である。これらの励起光導波路は、石英ガラスから成り、励起光伝送ファイバコア73を備えた第1導波路71、ガラスを母材とし、励起光を吸収してレーザ光を発生する第2導波路72、紫外線硬化樹脂から成り励起光を閉じ込める第3導波路75及び第3導波路75の周囲にガラスから成り励起光の閉じ込め効率を高める外層76を備える。
- [0066] 注入領域82a、82bは励起光を吸収してレーザ光を発生する第2導波路72、励起光を閉じ込める第3導波路75及び第3導波路75の閉じ込め効率を高める外層76か

ら成る。

- [0067] また、第2導波路72は、その内部にレーザ媒質であるネオジウムが添加され、シングルモードを伝送するコア73及びレーザ光を閉じ込めるガラス母材のクラッド74から成る。
- [0068] ここで第1導波路71、第2導波路72のクラッド74、コア73、第3導波路75及び外層76の屈折率をそれぞれ、 n_{71} 、 n_{72} 、 n_{73} 、 n_{74} 及び n_{75} とすると、 $n_{75} < n_{71} < n_{74} < n_{72} < n_{73}$ の関係をもたせる。
- [0069] 一方、コア73の両端には、コア73で発生するレーザ光を帰還させる高反射FBG78と一部のレーザ光を透過させる透過FBG79を備える。
- [0070] 励起光伝送ファイバ77a、77b及び77cは、外層76を貫通し、励起光伝送ファイバコア77d、77e及び77fは第3導波路75に接続されている。
- [0071] 励起光伝送ファイバコア77d、77e及び77fはこれらの間で所定の間隔をおいて配されており、そのうち、励起光伝送ファイバコア77eと励起光伝送ファイバコア77fとは相対向している。
- [0072] 上述のように構成されたレーザ発振装置について動作を説明する。半導体レーザ95aから出射される波長が808ナノメートルのレーザ光は、励起光伝送ファイバコア77a及び励起光伝送ファイバコア77dを伝送し、光増幅ファイバ70の空走領域81aにおいて第3導波路75に入射する。
- [0073] 第3導波路75に入射した励起光は、光増幅ファイバ70の注入領域82aに入射し、そこで外層76及び第3導波路75の屈折率をそれぞれを n_{76} 及び n_{75} とすると、 $n_{76} < n_{75}$ の関係をもたせているので、励起光は第3導波路75に閉じ込められ、第3導波路75中で多重反射しながら伝播する。
- [0074] 第3導波路75中を伝播する励起光の一部は、第2導波路72のクラッド74及び第3導波路75の屈折率をそれぞれ n_{72} 及び n_{75} とすると、 $n_{72} > n_{75}$ の関係をもたせているので、励起光はクラッド74に入射し、第2導波路72に閉じ込められ、第2導波路72中を多重反射しながら伝播する。
- [0075] 第2導波路72中を伝播する励起光の一部はコア73及び第2導波路72のクラッド74のそれぞれの屈折率を n_{73} 及び n_{72} とすると、 $n_{73} > n_{72}$ の関係をもたせているの

で励起光はコア73に入射する。

[0076] すなわち、励起光は、空走領域81aにおいては、全て第3導波路75に存在し、一方、注入領域82aにおいては、第3導波路75と第2導波路72に存在する。

[0077] 同様に、半導体レーザ95bから出射した波長が915ナノメートルのレーザ光は、励起光伝送ファイバコア77b及び励起光伝送ファイバコア77eを伝送し、光増幅ファイバ70の空走領域81bにおいて第3導波路75に入射する。

[0078] 第3導波路75に入射した励起光は、光増幅ファイバ70の注入領域82bに入射し、そこで外層76及び第2導波路72のクラッド74の屈折率をそれぞれ n_{76} , n_{72} とすると、 $n_{76} < n_{72}$ の関係をもたせているので、励起光の一部は第3導波路75に閉じ込められながら第3導波路75中で多重反射しながら伝播する。すなわち、第3導波路75に入射した励起光が伝播しながら第2導波路72に移ったときは第3導波路には励起光が存在しない空走領域を設けていることにほかならない。

[0079] 第3導波路75中を伝播する励起光の一部は、第2導波路72のクラッド74、第3導波路75の屈折率をそれぞれ n_{72} 及び n_{75} とすると、 $n_{72} > n_{75}$ の関係をもたせているので、励起光はクラッド74に入射し、第2導波路72に閉じ込められ、第2導波路72中を多重反射しながら伝播する。

[0080] 第2導波路72を伝播する励起光の一部は、コア73及び第2導波路72のクラッド74の屈折率をそれぞれ n_{73} 及び n_{72} とすると、 $n_{73} > n_{72}$ の関係をもたせているので、励起光の一部はコア73に入射する。

[0081] すなわち、励起光は、空走領域81bにおいては、全て第3導波路75に存在し、一方、注入領域82bにおいては、第3導波路75と第2導波路72に存在する。

[0082] また、半導体レーザ95cから出射した波長が808ナノメートルのレーザ光は、励起光伝送ファイバコア77c及び励起光伝送ファイバコア77fを伝送し、光増幅ファイバ70の空走領域81cにおいて第3導波路75に入射する。

[0083] 第3導波路75に入射した励起光は、光増幅ファイバ70の注入領域82bに入射する。ここで外層76及び第3導波路75の屈折率をそれぞれ n_{76} , n_{75} とすると、 $n_{76} < n_{75}$ の関係をもたせているので、励起光は第3導波路75に閉じ込められ、第3導波路75中で多重反射しながら伝播する。

- [0084] 第3導波路75を伝播する励起光の一部は、第2導波路72及び第3導波路75の屈折率をそれぞれ n_{72} , n_{75} とすると、 $n_{72} > n_{75}$ の関係をもたせているので、励起光はクラッド74に入射し、第2導波路72に閉じ込められ、第2導波路72中を多重反射しながら伝播する。
- [0085] 第2導波路72を伝播する励起光の一部は、コア73及び第2導波路72のクラッド74の屈折率をそれぞれ n_{73} , n_{72} とすると、 $n_{73} > n_{72}$ の関係をもたせているので、励起光の一部はコア73に入射する。
- [0086] すなわち、励起光は、空走領域81cにおいては、全て第3導波路75に存在し、一方、注入領域82bにおいては、第3導波路75と第2導波路72に存在する。
- [0087] 上述のように、半導体レーザ95a, 95b及び95cから出射した各励起光は、コア73に入射し、コア73に添加したイットリビウムを励起する。励起によって発生する光は、コア73の両端に設けた、レーザ光を帰還させる高反射FBG78と一部のレーザ光を透過FBG79とシングルモードを伝送するコア73により多重増幅帰還とモード選択が行われ、波長が1064ナノメートルのシングルモードレーザ光となり光増幅ファイバ70より出射する。
- [0088] なお、光増幅ファイバ70の一端からレーザ光が出射するとしたが、高反射FBG78を一部透過型とする事で、両端からレーザ光が出射する方式とし、一端の出力を出力や波長モニタとして用いてもよい。
- [0089] また、本実施の形態7では、FBGを光増幅ファイバの端部に設けたが、FBGを注入領域中に設け、その注入領域を新たに注入領域、空走領域及び注入領域の3領域に分けて、対となる高反射FBGと透過FBGで構成するレーザ発振領域と、その他のレーザ増幅領域で形成するレーザ装置としてもよい。
- [0090] 上述のように、シングルモードを伝送するコアを備える第2導波路72と励起光を伝送する第1導波路71を、空走領域と注入領域を設けて励起光をコアに入射できるように包含する光増幅ファイバ70により高出力・高ビーム品質のレーザ光を出射するレーザ発振装置を提供することができる。

産業上の利用可能性

- [0091] 本発明の、光増幅ファイバ及びそれを用いた光増幅方法、レーザ発振方法、レー

ザ増幅装置及びレーザ発振装置並びにレーザ発振装置を用いたレーザ装置及びレーザ加工機は、高出力、高ビーム品質なレーザ光を出射するレーザ装置などとして産業上の利用可能性は高い。

請求の範囲

- [1] 励起光を伝送する第1導波路と、レーザ媒質が添加されレーザ光を発生するコアと前記励起光を伝送するクラッドから成る第2導波路と、前記第1導波路と前記第2導波路を含む第3導波路とから成り、前記第1導波路、前記第2導波路クラッド、前記第2導波路コア及び前記第3導波路の屈折率をそれぞれ n_1 , n_2 , n_3 及び n_4 としたとき、 $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ である光増幅ファイバ。
- [2] 前記第1導波路の形状は、その長手方向に直交する面の断面積が長手方向に添って漸減する請求項1記載の光増幅ファイバ。
- [3] 前記第1導波路と第2導波路の間隔は、前記第1導波路の長手方向において一定である請求項2記載の光増幅ファイバ。
- [4] その長手方向に少なくとも1つの励起光を伝送する空走領域と、少なくとも1つの前記励起光をレーザ媒質を含む導波路に注入する注入領域とを有し、前記空走領域は前記励起光が伝送する第1導波路と、レーザ光を発生するコアと前記励起光を伝送するクラッドから成る第2導波路と、前記第1導波路と前記第2導波路を包含する第3導波路とから成り、前記第1導波路、前記第2導波路クラッド、前記第2導波路コア及び前記第3導波路の屈折率をそれぞれ n_1 , n_2 , n_3 及び n_4 としたとき、 $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ であり、前記注入領域は前記第2導波路と前記第3導波路より成る光増幅ファイバ。
- [5] 前記第3導波路中に励起光が存在しない空走領域を設けた請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [6] 前記空走領域と注入領域を各別に設けた請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [7] 前記第3導波路の外周は、励起光を前記第3導波路に閉じ込める外層が設けられ、前記外層及び前記第3導波路の屈折率をそれぞれ n_5 , n_4 としたとき、 $n_5 < n_4$ である請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の光増幅ファイバ。
- [8] 前記外層はガラスで構成された請求項7に記載の光増幅ファイバ。
- [9] 前記外層はフッ素樹脂で構成された請求項7に記載の光増幅ファイバ。
- [10] 前記第1導波路が複数備えられた請求項1または請求項4に記載の光増幅ファイバ。

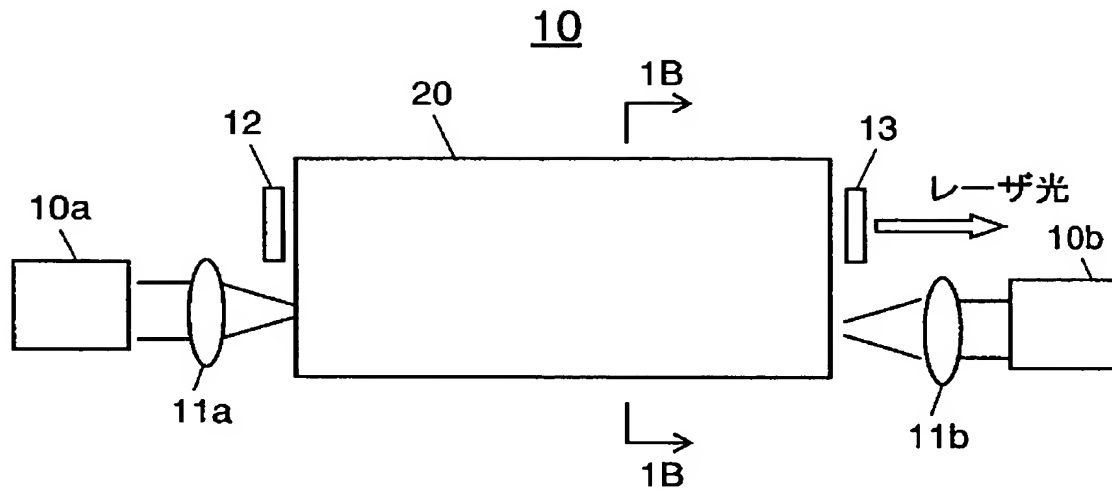
- [11] 第3導波路が紫外線硬化樹脂で構成された請求項1または請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [12] 第3導波路が屈折率整合剤または屈折率整合液を含む請求項1または請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [13] 第2導波路と第3導波路の断面形状のうち少なくとも一部が直線で形成された請求項1または請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [14] コア径は、シングルモードを伝送する大きさである請求項1または請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [15] レーザ媒質は、希土類で構成された請求項1または請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [16] 光増幅ファイバは、前記光増幅ファイバから照射される光を帰還する帰還手段を有した請求項1または請求項4に記載の光増幅ファイバ。
- [17] 帰還手段がFBG（ファイバブラッググレーティング）である請求項16に記載の光増幅ファイバ。
- [18] 励起光を出射する励起源と、請求項1から請求項15のいずれか1項に記載の光増幅ファイバとを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第1導波路に入射して光を増幅する光増幅方法。
- [19] 励起光を出射する励起源と、請求項1から請求項15のいずれか1項に記載の光増幅ファイバと、前記光増幅ファイバにて発生する光を帰還する手段とを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第1導波路に入射してレーザ光を発振するレーザ発振方法。
- [20] 励起光を出射する励起源と、請求項1から請求項15のいずれか1項に記載の光増幅ファイバとを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第1導波路に入射するレーザ増幅装置。
- [21] 励起光を出射する励起源と、請求項1から請求項15のいずれか1項に記載の光増幅ファイバと、前記光増幅ファイバにて発生する光を帰還する手段とを有し、前記励起光を前記光増幅ファイバの第1導波路に入射してレーザ光を発振するレーザ発振装置。

- [22] 請求項21記載のレーザ発振装置の出射光を、請求項20記載のレーザ増幅装置に導光する手段を有したレーザ装置。
- [23] 導光する手段がファイバであり、前記ファイバの一端を請求項21記載のレーザ発振装置に、その他端を請求項20記載のレーザ増幅装置に融着したレーザ装置。
- [24] 励起源が半導体レーザである請求項22または請求項23記載のレーザ装置。
- [25] 半導体レーザの励起光をファイバで伝送し、前記ファイバが第1導波路に接続された請求項22から請求項24のいずれかに記載のレーザ装置。
- [26] 請求項22から請求項25のいずれか1項に記載のレーザ装置を用いたレーザ加工機。

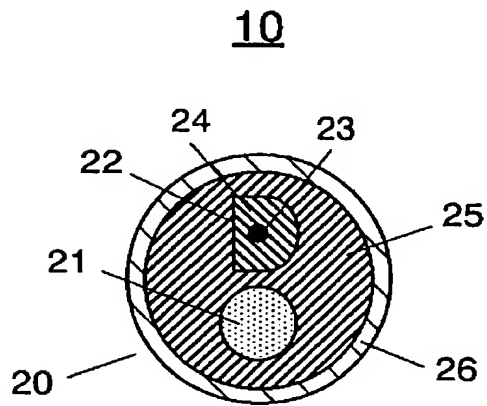
要 約 書

高出力・高ビーム品質のレーザ光が得られる、小型、高効率レーザ発振装置を提供する。励起光を伝送する第1導波路(21)(屈折率= n_1)と、レーザ光を発生するコア(23)(屈折率= n_3)と励起光を伝送するクラッド(24)(屈折率= n_2)から成る第2導波路(22)と、第1導波路21と第2導波路22を包含する第3導波路(25)(屈折率= n_4)とを備える。各屈折率が $n_1 < n_4 < n_2 < n_3$ の関係が成立するように設定した光増幅ファイバ(20)を用い、これを半導体レーザ(10a), (10b)で励起する。

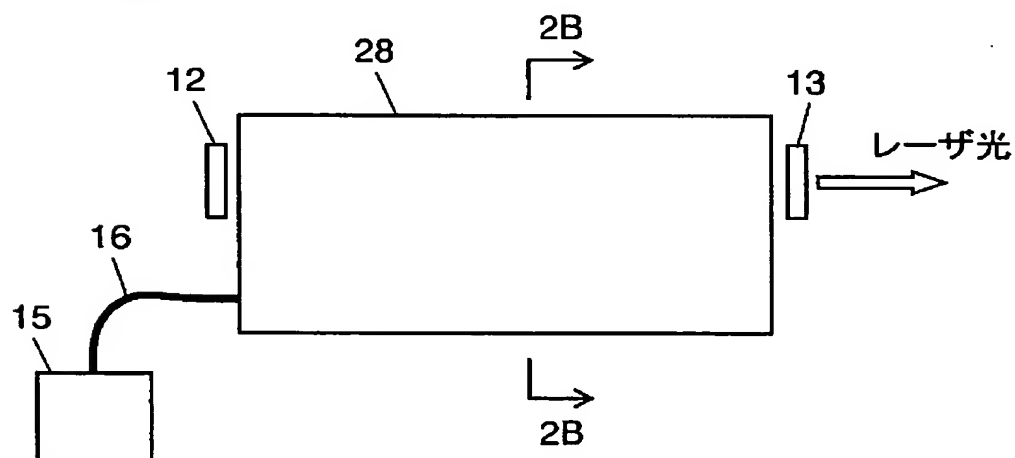
[図1A]



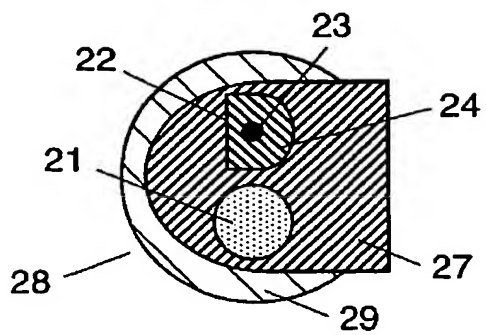
[図1B]



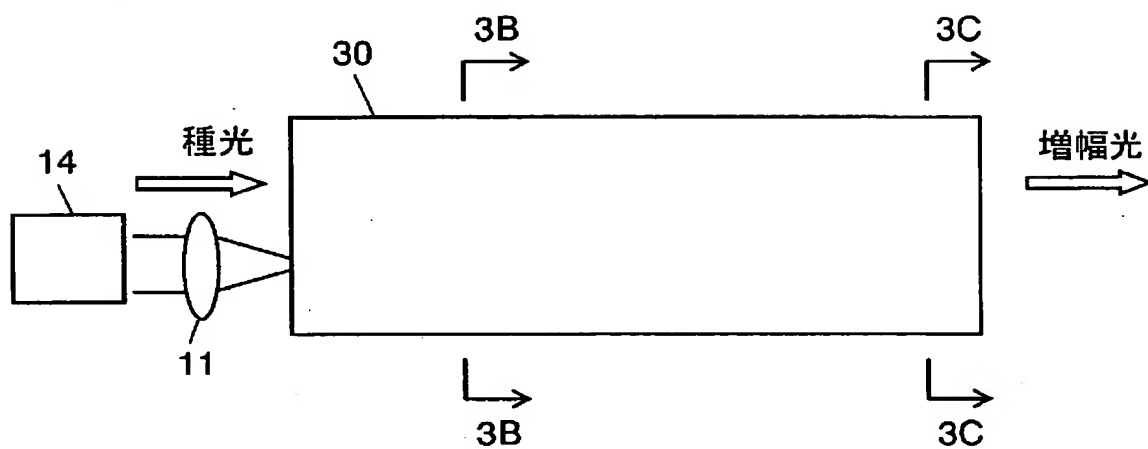
[図2A]



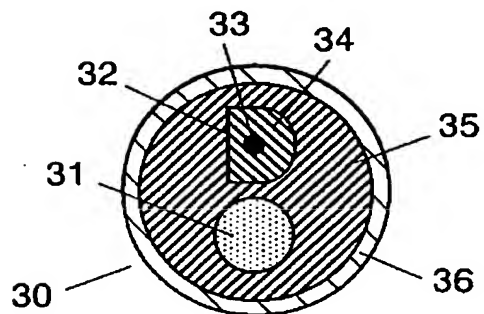
[図2B]



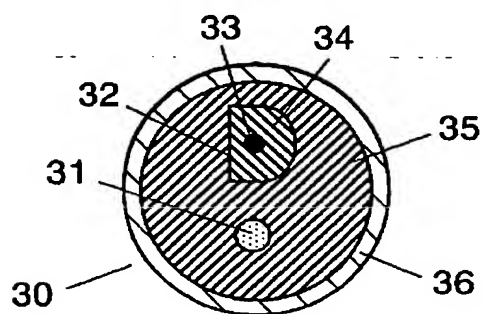
[図3A]



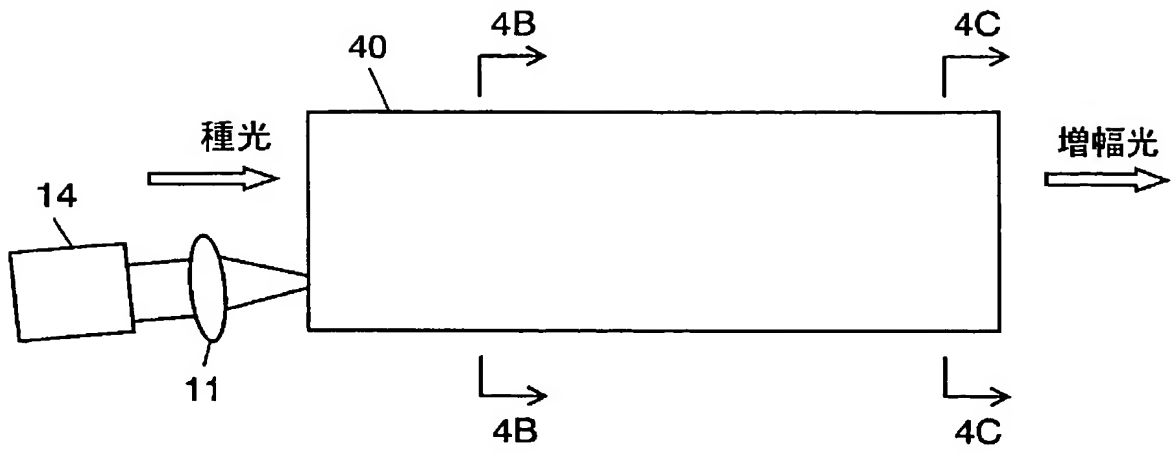
[図3B]



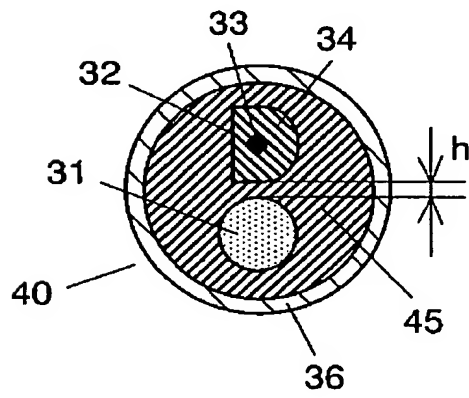
[図3C]



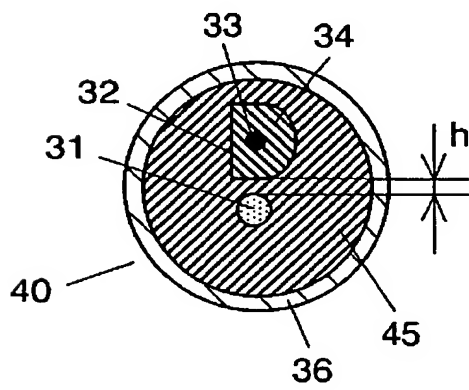
[図4A]



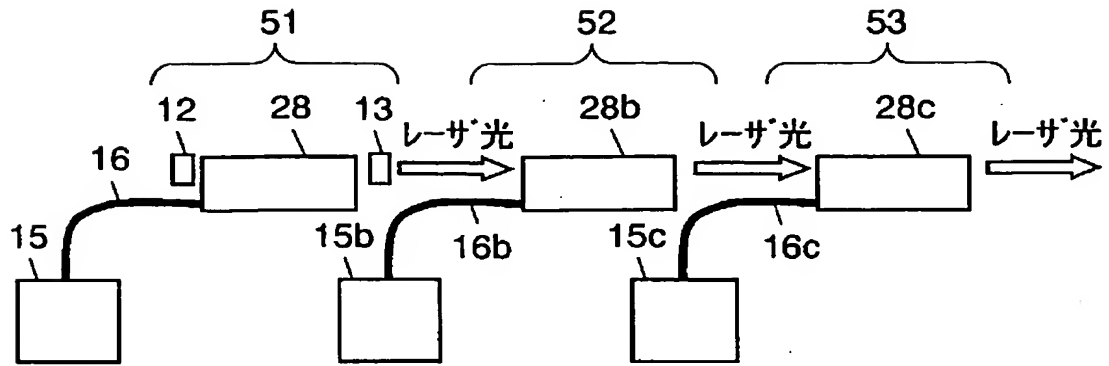
[図4B]



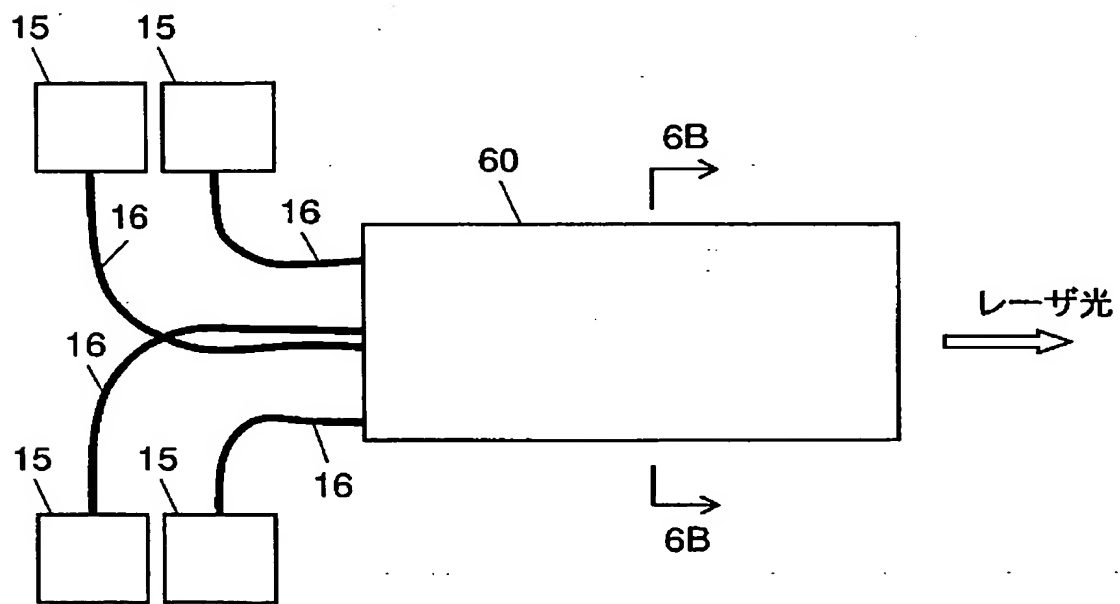
[図4C]



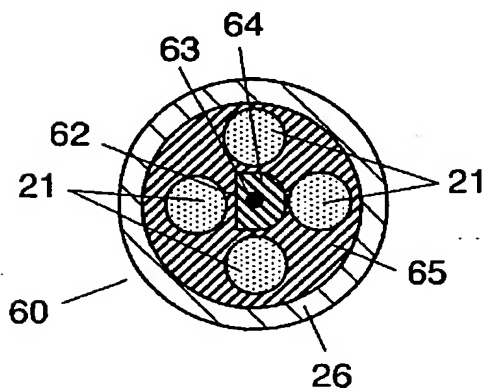
[図5]



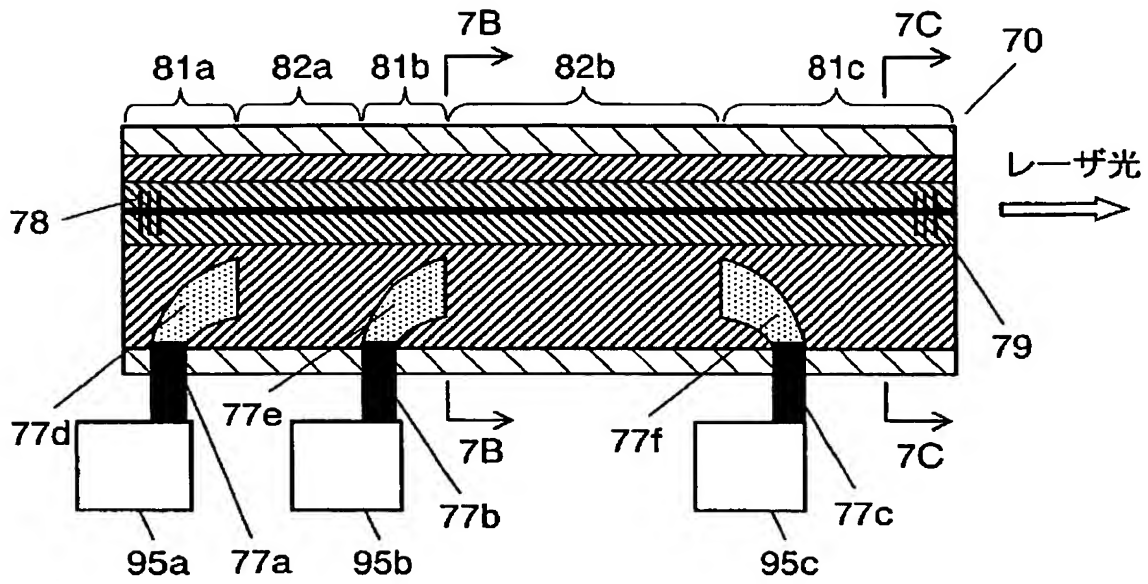
[図6A]



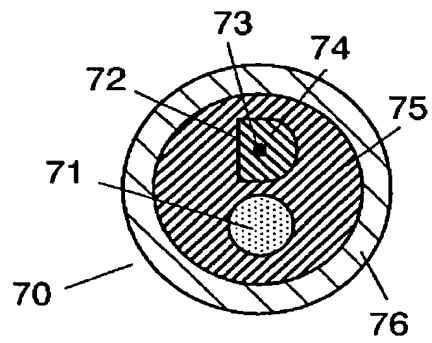
[図6B]



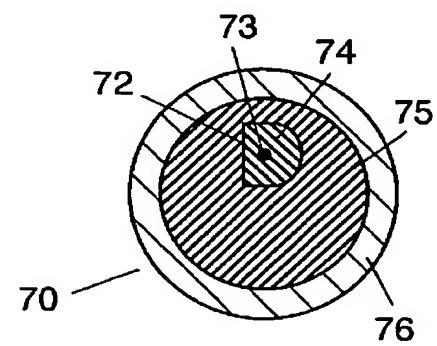
[図7A]



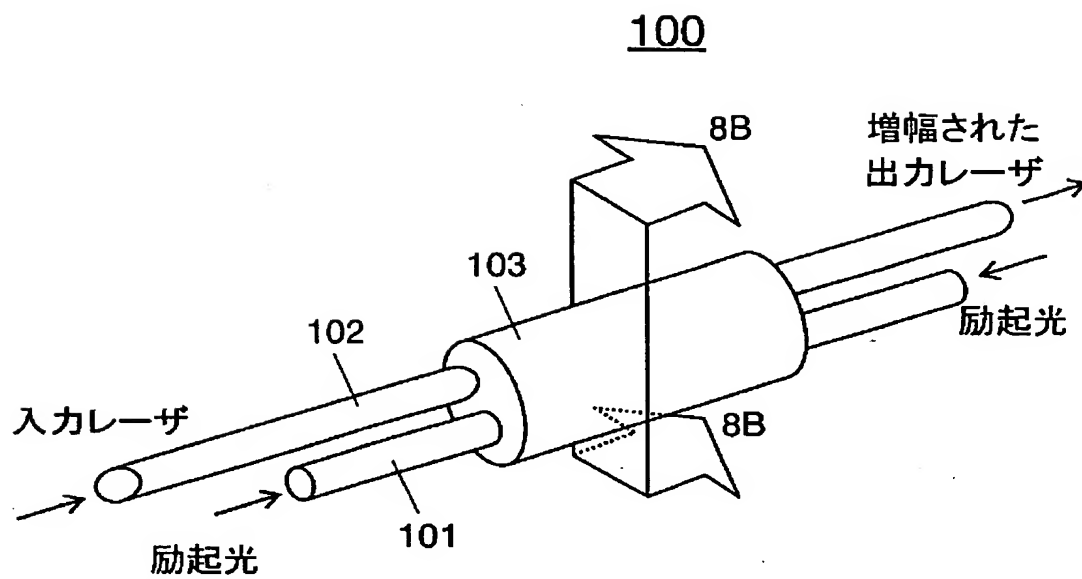
[図7B]



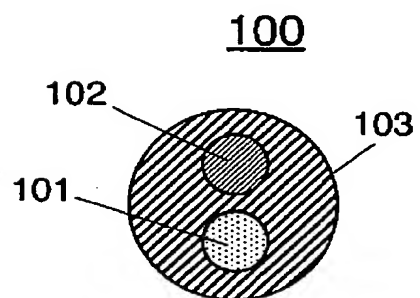
[図7C]



[図8A]



[図8B]



THIS PAGE BLANK (USPTO)